

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

⑫ **Off nlegungsschrift**
⑩ **DE 42 04 512 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 J 37/153
H 01 J 37/26

②1 Aktenzeichen: P 42 04 512.6
②2 Anmeldetag: 15. 2. 92
④3 Offenlegungstag: 19. 8. 93

DE 42 04 512 A 1

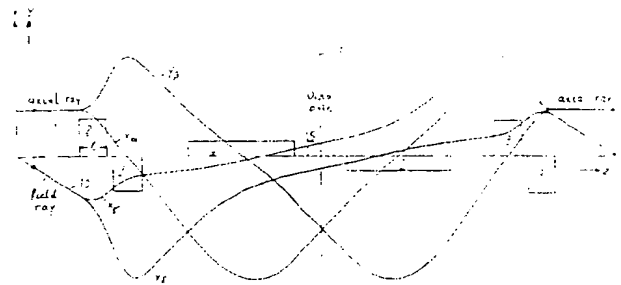
⑦1 Anmelder:
Haider, Maximilian, Dipl.-Phys. Dr., 6901 Gaiberg, DE

⑦4 Vertreter:
Pöhner, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 8700
Würzburg

⑦2 Erfinder:
Rose, Harald, Prof. Dr., 6100 Darmstadt, DE

⑤4 **Elektronenoptisches Korrektiv**

⑤7 Zur Korrektur des Öffnungsfehlers dritter Ordnung, des axialen als auch außeraxialen chromatischen Fehlers 1. Ordnung, 1. Grades wird ein zur Anordnung hinter der Rundlinse des Objektivs bestimmtes elektronenoptisches Korrektiv vorgeschlagen, wobei auf der optischen Achse in Richtung des Strahlenganges eingangsseitig ein elektrischer oder magnetischer Quadrupol (2) (= 1. Quadrupol), daran anschließend im astigmatischen Zwischenbild des einen Schnittes (X-Komponente der axialen Bahn = 0) ein elektrischer oder magnetischer Quadrupol (3) (= 2. Quadrupol) und in etwa im nächsten astigmatischen Zwischenbild (Y-Komponente der axialen Bahn = 0) ein elektromagnetischer Quadrupol (4) (= 3. Quadrupol) angeordnet ist, deren Schnitte jeweils zusammenfallen und der weitere Aufbau des Korrektivs zu der sich anschließenden, senkrecht zur optischen Achse verlaufenden Mittelebene (6) asymmetrisch zum bisher beschriebenen ist sowie sämtlichen Quadrupol (2-4, 7-9) und der Mittelebene (6) jeweils ein elektrischer oder magnetischer Octopol überlagert ist.



DE 42 04 512 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein elektronenoptisches Korrektiv zur Anordnung hinter der Rundlinse des Objektives und zur Korrektur des Öffnungsfehlers 3. Ordnung und des axialen als auch außeraxialen chromatischen Fehlers 1. Ordnung 1. Grades.

Elektronenoptische Korrektive haben die Aufgabe, in Systemen, die mit der Führung von Elektronenstrahlen befaßt sind, auftretende Bildfehler teilweise oder vollständig zu kompensieren. Die Bildfehler können in einzelne Gruppen von Fehlern unterteilt werden: Unter Öffnungsfehler werden alle jene Bildfehler zusammengefaßt, die bei der Abbildung des Achsenpunktes auftreten. Mit dem Begriff chromatische Fehler werden diejenigen Fehler bezeichnet, die durch die Abweichung der Energie der abbildenden Elektronen von der Sollenergie (= Energiebreite) erzeugt und bedingt werden. Die außeraxialen Fehler beeinflussen die Abbildung der achsenfernen Punkte und sie bestimmen ausschließlich die Größe des präzise oder scharf abgebildeten Bildbereichs. Ein vornehmliches Anwendungsgebiet elektronenoptischer Korrektive ist die Elektronenmikroskopie, deren jeweilige Leistungsfähigkeit primär von den axialen Fehlern, die durch Öffnungsfehler und chromatische Fehler bestimmt werden, abhängt.

Im Stande der Technik sind Korrektive bekannt, die den das Auflösungsvermögen bestimmenden Öffnungsfehler dritter Ordnung beseitigen. Der Nachteil dieser Systeme besteht darin, daß sie den axialen chromatischen Fehler nicht zu korrigieren gestatten oder daß die außeraxialen Bildfehler einen so großen Wert annehmen, daß der scharf abgebildete Bildbereich über Gebühr eingeschränkt wird.

Aufgabe vorliegender Erfindung ist die Schaffung eines elektronenoptischen Korrektivs, das neben der Beseitigung des Öffnungsfehlers dritter Ordnung die Kompensation des axialen chromatischen Fehlers 1. Ordnung 1. Grades zuläßt.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale.

Das grundsätzliche Prinzip des Korrektives ist wie folgt:

Objektnah findet sich als erstes ein magnetischer Quadrupol. Hieran schließt sich in Richtung des Strahlenganges ein zweiter elektromagnetischer Quadrupol an. Letzterer wird dort positioniert, wo das durch den ersten Quadrupol erzeugte, astigmatische Zwischenbild liegt.

Als nächstes folgt ein weiterer elektromagnetischer Quadrupol, dessen Schnitte mit denen der vorhergehenden Quadrupole zusammenfallen.

Der weitere Aufbau des Korrektives ist zu der sich daran anschließenden Mittelebene asymmetrisch.

Den jeweiligen Quadrupolen ist ein Octopol überlagert, ein zusätzlicher Octopol ist zwischen dem 3. und 4. Quadrupol symmetrisch zur dort verlaufenden Mittelebene angeordnet.

Die Wirkungsweise des Korrektives erklärt sich wie folgt:

Durch den ersten rein magnetischen Quadrupol erfolgt eine Aufspaltung sowohl des axialen als auch des außeraxialen Strahlenganges.

Der zweite Quadrupol beeinflußt den axialen Strahlengang im einen Schnitt (= Y-Schnitt) sowie die außeraxialen Strahlen.

Der dritte elektromagnetische Quadrupol beeinflußt primär die X-Komponente des axialen Strahlenganges

und nur in geringem Umfang die Y-Komponente sowie die beiden des außeraxialen Strahles, wobei auf die Y-Komponente stärker eingewirkt wird. Der sich daran anschließende Octopol hat keinen Einfluß auf den Gaußschen Strahlengang. Der weitere Verlauf des Gaußschen Strahlenganges entspricht dem der ersten Hälfte bei Vertauschung der beiden Schnittebenen.

Zur Korrektur des chromatischen Fehlers: Der Gaußsche Strahlengang wird durch die Gesamtfeldstärke der Quadrupole, die sich aus einem elektrischen und magnetischen Anteil addiert, bestimmt. Durch entsprechende Wahl der beiden Komponenten läßt sich bei dem dritten und vierten elektromagnetischen Quadrupol (drittes und viertes Element) eine vollständige Korrektur des axialen chromatischen Fehlers erreichen. Aufgrund der zwei zur Verfügung stehenden Parameter läßt sich auf für das Gesamtsystem eine Korrektur des chromatischen Fehlers erster Ordnung ersten Grades des axialen chromatischen Fehlers erzielen.

Die Korrektur des Öffnungsfehlers dritter Ordnung erfolgt durch die drei Innenoctopole, wobei das dritte und fünfte Octopolfeld dem Quadrupol überlagert sind. Durch den achsnahen Strahlenverlauf der außeraxialen Strahlen im Bereich dieser drei Elemente werden keine nennenswerten außeraxialen Fehleranteile generiert.

Die Korrektur der außeraxialen Fehler erfolgt nur dahingehend, daß die durch das Korrektiv erzeugten Anteile kompensiert werden. Dies geschieht, indem dem ersten, zweiten, sechsten und siebten Quadrupol ein magnetischer Octopol überlagert und entsprechend eingestellt wird. Im Rahmen der Erfindung ist grundsätzlich unerheblich, ob ein elektrisches und/oder magnetisches Octopolfeld erzeugt wird. Klarzustellen ist, daß eine vollständige Korrektur der außeraxialen Fehler anhand des Korrektives selbst nicht möglich ist. Im allgemeinsten Fall gilt, daß durch das Korrektiv selbst keine zusätzlichen außeraxialen Fehler in das aus Rundlinse und Korrektiv gebildete optische System eingebracht werden.

Der Vorteil des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Korrektives besteht darin, daß es zur Korrektur des Öffnungsfehlers dritter Ordnung sowie des axialen chromatischen Fehlers erster Ordnung ersten Grades imstande ist. Zusätzlich werden keine außeraxialen Fehleranteile durch das Korrektiv selbst erzeugt bzw. in das System eingebracht. Das hohe Korrekturvermögen des Korrektivs ist u. a. darauf zurückzuführen, daß die außeraxialen Fehler dritter Ordnung dort wo sie entstehen, korrigiert werden, so daß Kombinationsfehler entfallen.

In einer als besonderes bevorzugt angesehenen Weiterbildung erlaubt das vorgeschlagene elektronenoptische Korrektiv zusätzlich zu den vorerwähnten den außeraxialen chromatischen Farbfehler 1. Ordnung 1. Grades zu korrigieren. Hierzu werden im Rahmen der Erfindung zwei Möglichkeiten aufgezeigt: Die erstere besteht darin, den zweiten und fünften Quadrupol elektromagnetisch, d. h. sowohl ein elektrisches als auch ein magnetisches Quadrupolfeld, zu erzeugen. Durch die hierbei gewonnenen zusätzlichen Parameter, nämlich dem jeweiligen Verhältnis zwischen elektrischem und magnetischem Quadrupolfeld, läßt sich der außeraxiale chromatische Farbfehler 1. Ordnung 1. Grades beseitigen.

In einer Alternative, die prinzipiell auch zusätzlich realisierbar ist, wird in der gesamten aus Objektiv und Korrektiv bestehenden Anordnung ein weiterer elektromagnetischer Quadrupol zwischen Objekt und End-

schirm, vorzugsweise jedoch in Richtung des Strahlenganges gesehen, hinter dem Korrektiv angeordnet.

Als Aplanate werden Korrektive bezeichnet, die die Öffnungsfehler dritter Ordnung, den axialen chromatischen Fehler und die außeraxialen Fehler, die im Achsenabstand linear gehen, vollständig kompensieren.

In einer als besonders bevorzugt angesehenen Weiterbildung ist zusätzlich die Korrektur der mit dem Achsenabstand linear gehenden, außeraxialen Fehler möglich. Hierzu stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung.

Im einen Fall erfolgt Zuordnung des Korrektives zur Rundlinse derart, daß der objektseitige Knotenpunkt des Korrektives in den komafreien Punkt der Rundlinse gelegt wird.

Um die Korrektoreigenschaft des Aplanats zu realisieren, ist jedoch die Zuordnung des Korrektivs zur Rundlinse in der angegebenen Weise nicht ausschließlich oder zwingend erforderlich. Vielmehr läßt sich bei beliebigem Abstand Korrektiv-Rundlinse eine Korrektur der außeraxialen Fehler prinzipiell dadurch erzeugen, daß die Octopole in von der Symmetrieebene abweichende Weise erregt werden.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und dem Verständnis der Erfindung fördernde Einzelheiten sind dem nachfolgenden Beschreibungsteil entnehmbar, in dem anhand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher erläutert ist. Sie zeigt in prinzipienhafter Darstellung den Gaußschen Strahlengang innerhalb des Korrektives, wobei die beiden senkrecht zueinander verlaufenden Schnitte (X-, Y-Schnitt) senkrecht aufeinander projiziert sind und die Z-Achse die optische Achse bezeichnet.

Die x_α und y_β -Komponenten des von der Achse des Objektpunktes ausgehenden axialen Strahles (1), der bereits die Rundlinse des Objektives passiert hat, werden im ersten Quadrupol (2) unterschiedlich abgelenkt. Hierdurch entsteht ein astigmatisches Zwischenbild, wobei die im X-Schnitt verlaufende Bahn zu Null wird, d. h. sie schneidet die optische Achse. In diesem Punkt ist ein elektromagnetischer Quadrupol (3) angeordnet, der aufgrund seiner Position nur zur Beeinflussung der y_β -Komponente (und nicht der x_α -Komponente) in der Lage ist. Man erkennt, daß die x_α -Bahn unbeeinflusst bleibt, die y_β -Bahn eine starke Umlenkung erfährt.

Der nächste elektromagnetische Quadrupol (4) befindet sich im nächsten astigmatischen Zwischenbild, also dort, wo die Y-Komponente zu Null wird, d. h. der y_β -Strahl die optische Achse schneidet. Hier findet dann eine Beeinflussung nur des x_α -Strahles und eine Umkehrung desselben statt.

Als nächstes folgt ein Octopol (5), der gestrichelt eingezeichnet ist, um anzudeuten, daß durch ihn der Gaußsche Strahlengang, d. h. die achsennahen Strahlen x_α , y_β und x_γ und y_δ unbeeinflusst bleiben. Er liegt symmetrisch zur Mittelebene (6), zu der der gesamte Aufbau des Korrektives asymmetrisch (antisymmetrisch) ist. Demgemäß folgen weitere Quadrupole (7, 8, 9), die gleich sind dem bisherigen Aufbau, jedoch mit entgegengesetzter Polarität. Der Strahlengang verläuft in der bisher beschriebenen Weise, so daß es zur Vermeidung von Wiederholungen weiterer Ausführungen nicht bedarf.

Der außeraxiale Strahl (10) mit den Komponenten x_γ und y_δ wird gleichermaßen durch den ersten Quadrupol (2) aufgespalten sowie durch die folgenden Quadrupolfelder beeinflusst. Von Bedeutung ist, daß durch den achsennahen Verlauf der außeraxialen Strahlen x_γ , y_δ teilweise verlaufen sie in unmittelbarer Nähe der optischen Achse und bleiben deshalb nahezu vollständig

unbeeinflusst (siehe hierzu die Quadrupole 4, 7 und mit Abstrichen auch die Quadrupole 3, 8) — sowie durch den antisymmetrischen Aufbau durch das Korrektiv selbst keine nennenswerten außeraxialen Fehler erzeugt werden. Vielmehr kann darüber hinausgehend entweder durch entsprechenden Abstand zwischen der (hier nicht gezeigten) Rundlinse des Objektives und dem Korrektiv, in dem der objektseitige Knotenpunkt des Korrektivs in den komafreien Punkt der Rundlinse gelegt wird oder durch eine von der Symmetrie abweichenden Erregung der (in der Zeichnung nicht gezeigten) Octopole eine vollständige Korrektur der mit dem Achsenabstand linear gehenden außeraxialen Fehler erzeugt werden.

Zu ergänzen bleibt, daß aufgrund der Darstellung des Gaußschen Strahlenganges die diesen nicht beeinflussenden Octopole mit Ausnahme des die Mittelebene (6) definierenden Octopoles (5) keine weiteren Octopole eingezeichnet sind, die jeweils die Quadrupole (2—4, 7—9) überlagern und für die Fehlerkorrektur von entscheidender Bedeutung sind.

Im Ergebnis erhält man ein elektronenoptisches Korrektiv, das sowohl zur vollständigen Beseitigung des Öffnungsfehlers dritter Ordnung als auch des axialen als auch außeraxialen chromatischen Fehlers erster Ordnung, ersten Grades in der Lage ist, wobei in einer speziellen Weiterbildung zusätzlich die außeraxialen Fehler korrigiert und somit die störenden Eigenschaften eines Aplanats erhalten werden.

Patentansprüche

1. Elektronenoptisches Korrektiv zur Anordnung hinter der Rundlinse des Objektives und zur Korrektur des Öffnungsfehlers 3. Ordnung und des axialen chromatischen Fehlers 1. Ordnung 1. Grades, **dadurch gekennzeichnet**, daß auf der optischen Achse in Richtung des Strahlenganges eingangsseitig ein elektrischer oder magnetischer Quadrupol (2) (= 1. Quadrupol), daran anschließend im astigmatischen Zwischenbild des einen Schnittes (X-Komponente der axialen Bahn = 0) ein elektrischer oder magnetischer Quadrupol (3) (= 2. Quadrupol) und in etwa im nächsten astigmatischen Zwischenbild (Y-Komponente der axialen Bahn = 0) ein elektromagnetischer Quadrupol (4) (= 3. Quadrupol) angeordnet ist, deren Schnitte jeweils zusammenfallen und der weitere Aufbau des Korrektivs zu der sich anschließenden, senkrecht zur optischen Achse verlaufenden Mittelebene (6) asymmetrisch zum bisher beschriebenen ist sowie sämtlichen Quadrupol (2—4, 7—9) und der Mittelebene (6) jeweils ein elektrischer oder magnetischer Octopol überlagert ist.

2. Korrektiv nach Anspruch 1 zur zusätzlichen Korrektur des außeraxialen chromatischen Farbfehlers 1. Ordnung 1. Grades dadurch gekennzeichnet, daß der zweite (3) und fünfte Quadrupol (8) elektromagnetisch ist.

3. Korrektiv nach Anspruch 1 oder 2 zur zusätzlichen Korrektur des außeraxialen chromatischen Farbfehlers 1. Ordnung 1. Grades, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzlicher elektromagnetischer Quadrupol zwischen Objekt und Endschild, vorzugsweise in Richtung des Strahlenganges hinter dem Korrektiv angeordnet ist.

4. Korrektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuordnung Kor-

rektiv-Rundlinse derart erfolgt, daß der objektseitige Knotenpunkt des Korrektivs in den kornafreien Punkt der Rundlinse zu liegen kommt.

5. Korrektiv nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Octopole in von der Symmetrie abweichender Weise eingestellt sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

